

原 発 本 第 1 5 号
令 和 3 年 4 月 2 6 日

原子力規制委員会 殿

九州電力株式会社
代表取締役 社長執行役員
池 辺 和 弘

玄海原子力発電所 3 号炉及び 4 号炉
基準地震動の変更が不要であることを説明する文書

実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈等の一部改正に係る対応について（指示）に基づき、下記のとおり、玄海原子力発電所 3 号炉及び 4 号炉について、基準地震動の変更が不要であることを説明する文書を提出いたします。

記

実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈等の一部改正（令和 3 年 4 月 21 日 原子力規制委員会決定）に伴い、添付資料のとおり、玄海原子力発電所 3 号炉及び 4 号炉における震源を特定せず策定する地震動として標準応答スペクトルを考慮した地震動を設定した結果、現行の基準地震動に包絡されることを確認した。

このため、玄海原子力発電所 3 号炉及び 4 号炉については、改正後の解釈を適用しても基準地震動を変更する必要がないと考える。

以上

九州電力株式会社 玄海原子力発電所 3号炉及び4号炉

標準応答スペクトルを考慮した地震動の確認結果

1. 概 要

実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈等の一部改正により、震源を特定せず策定する地震動のうち全国共通に考慮すべき地震動の策定に当たっては、「震源近傍の多数の地震動記録に基づいて策定した地震基盤相当面における標準応答スペクトル」（以下「標準応答スペクトル」という。）を用いることが新たに規定された。

本資料では、まず、平成 29 年 1 月 18 日に設置変更許可を受けた玄海原子力発電所 3 号炉及び 4 号炉の基準地震動（以下「現行の基準地震動」という。）の概要及び標準応答スペクトルの概要を記載する。

次に、標準応答スペクトルを考慮した地震動を設定し、標準応答スペクトルを考慮した地震動が現行の基準地震動に包絡されることを確認する。

2. 現行の基準地震動の概要

現行の基準地震動は、敷地ごとに震源を特定して策定する地震動及び震源を特定せず策定する地震動について、玄海原子力発電所の解放基盤表面における水平方向及び鉛直方向の地震動をそれぞれ策定している。

玄海原子力発電所の解放基盤表面は、原子炉格納容器及び原子炉周辺建屋基礎底版位置の EL. -15.0m とし、地震動評価上、解放基盤表面における S 波速度は、1.35km/s と設定している。

現行の基準地震動のうち、敷地ごとに震源を特定して策定する地震動は、応答スペクトルに基づく地震動評価結果を包絡して設定した基準地震動 Ss-1 を策定している。また、城山南断層による地震及び竹木場断層による地震の断層モデルを用いた手法による地震動評価結果に基づき、基準地震動 Ss-2 及び Ss-3 を策定している。震源を特定せず策定する地震動は、2004 年北海道留萌支庁南部地震を考慮した地震動及び 2000 年鳥取県西部地震を考慮した地震動による基準地震動 Ss-4 及び Ss-5 を策定している。

現行の基準地震動の最大加速度を第 2-1 表に示す。

3. 標準応答スペクトルの概要

標準応答スペクトルは、過去の内陸地殻内地震の多数の地震動観測記録（Mw5.0～Mw6.5程度）を対象として統計的な手法を用いた処理により算出した複数条件での応答スペクトルを踏まえ、設定されたものである。また、標準応答スペクトルは、地震基盤相当面で定義されている。

標準応答スペクトルの応答スペクトル値を第3-1表に示す。

4. 標準応答スペクトルを考慮した地震動の設定

標準応答スペクトルは、地震基盤相当面で定義されているため、基準地震動と比較する場合は、地震基盤相当面から解放基盤表面までの地震波の伝播特性を反映する必要がある。このため、標準応答スペクトルを基に、地震基盤相当面における模擬地震波を作成し、地下構造モデルを用いて解放基盤表面における標準応答スペクトルを考慮した地震動を設定する。

4.1 地下構造モデルの設定

標準応答スペクトルを考慮した地震動の設定に用いる地下構造モデルのうち、層厚、密度、S波速度 V_s 及びP波速度 V_p については、既許可（平成29年1月18日許可）に示す、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」における断層モデルを用いた手法の長周期帯における理論的方法による評価に用いた地下深部構造モデル（以下「長周期帯の理論的方法に用いた地下構造モデル」という。）を参照する。長周期帯の理論的方法に用いた地下構造モデルを第4-1表に示す。

Q値については、敷地地盤における鉛直アレイ地震観測記録から求めた伝達関数に、次元波動論に基づく理論伝達関数を当てはめる逆解析により同定したQ値及び地震波干渉法により推定したQ値に、不確かさを考慮して設定する。敷地地盤における地震観測点を第4-1図に示す。

地震基盤相当面は、標準応答スペクトルが定義される地盤のS波速度を踏まえ設定する。

4.1.1 伝達関数の逆解析によるQ値の同定

伝達関数の逆解析によるQ値の同定については、層厚、密度、S波速度 V_s 及びP波速度 V_p を第4-1表に示す長周期帯の理論的方法に用いる地下構造モデルにおける値を参照し、敷地地盤における鉛直アレイ地震観測記録から求めた伝達関数に、一元波動論に基づく理論伝達関数を当てはめる逆解析により、Q値を同定した。地震観測記録の伝達関数の逆解析に用いた観測地震の諸元を第4-2表、震央分布を第4-2図に示す。

地震観測記録に基づく平均伝達関数及び同定結果から計算される理論伝達関数を第4-3図、Q値の同定結果を第4-4図に示す。第4-3図には、長周期帯の理論的方法に用いる地下構造モデルから計算される理論伝達関数を実線で併記した。

4.1.2 地震波干渉法による Q 値の推定⁽¹⁾⁽²⁾

地震波干渉法による Q 値の推定については、地下構造モデルを介さず、鉛直アレイ地震観測記録から減衰を直接推定可能である。地中の地震観測記録には、鉛直下方から入射された波動が地表で反射し、反射波が記録されるため、地表の観測記録に対して地中記録をデコンボリューションすると、入射波と反射波が分離される。この入射波に対する反射波の振幅の比率に基づき、Q 値を推定した。地震波干渉法による Q 値の推定は、第 4-2 表及び第 4-2 図に示した観測地震を対象に検討した。

地震波干渉法による Q 値の推定結果を第 4-5 図に示す。

4.1.3 地震基盤相当面の設定

地震基盤相当面は、標準応答スペクトルが定義される地盤の S 波速度を踏まえ、第 4-1 表に示す、地下構造モデルの S 波速度 2.10 km/s の層上面である EL. -200m として設定する。

以上を踏まえ、標準応答スペクトルを考慮した地震動の設定に用いる地下構造モデルを設定する。Q 値は、「4.1.1 伝達関数の逆解析による Q 値の同定」及び「4.1.2 地震波干渉法による Q 値の推定」を踏まえ、不確かさを考慮して 12.5 と設定する。

標準応答スペクトルを考慮した地震動の設定に用いる解放基盤表面以深の地下構造モデルを第 4-3 表に示す。

4.2 模擬地震波の作成

地震基盤相当面における模擬地震波は、標準応答スペクトルに適合するよう、一様乱数の位相をもつ正弦波の重ね合わせによって作成する。振幅包絡線の経時的変化については、Noda et al. (2002)⁽³⁾に基づき、第 4-4 表に示す形状とする。地震基盤相当面における模擬地震波の作成結果を第 4-5 表、標準応答スペクトルに対する模擬地震波の応答スペクトル比を第 4-6 図、時刻歴波形を第 4-7 図に示す。

4.3 解放基盤表面における地震動の作成

「4.2 模擬地震波の作成」において作成した模擬地震波を用い、第4-3表に示す地下構造モデルを用いた一次元波動論により解放基盤表面における標準応答スペクトルを考慮した地震動を設定する。設定した標準応答スペクトルを考慮した地震動の時刻歴波形を第4-8図、最大加速度を第4-6表に示す。

5. 標準応答スペクトルを考慮した地震動と現行の基準地震動の比較

標準応答スペクトルを考慮した地震動と現行の基準地震動の応答スペクトルの比較を第5-1図～第5-3図に示す。第5-1図～第5-3図より、標準応答スペクトルを考慮した地震動の応答スペクトルは、現行の基準地震動の応答スペクトルに包絡されることを確認した。

6. まとめ

以上のとおり、実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈等の一部改正に伴い、3号炉及び4号炉における震源を特定せず策定する地震動として標準応答スペクトルを考慮した地震動を設定した結果、現行の基準地震動に包絡されることを確認した。

【参考文献】

- (1) R. Fukushima, H. Nakahara, and T. Nishimura (2016) : Estimating S-Wave Attenuation in Sediments by Deconvolution Analysis of KiK-net Borehole Seismograms, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 106, No. 2, pp. 552-559.
- (2) Riga, Evi, F. Hollender, A. Roumelioti, P.-Y. Bard, and K. Pitilakis (2019) : Assessing the Applicability of Deconvolution of Borehole Records for Determining Near-Surface Shear-Wave Attenuation, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 109, No.2, pp. 621-635.
- (3) S. Noda, K. Yashiro, K. Takahashi, M. Takemura, S. Ohno, M. Tohdo and T. Watanabe (2002) : RESPONSE SPECTRA FOR DESIGN PURPOSE OF STIFF STRUCTURES ON ROCK SITES, OECD-NEA Workshop on the Relations between Seismological Data and Seismic Engineering, Oct. 16-18, pp.399-408.

第2-1表 現行の基準地震動の最大加速度

| 基準地震動 | | | | 最大加速度 (cm/s ²) |
|-------------------------------------|--------------------------|---------------|--------------------|-------------------------------|
| 応答スペクトルに基づく手法による基準地震動 Ss-1 | 設計用模擬地震波 | 水平方向 | Ss-1 _H | 540 |
| | | 鉛直方向 | Ss-1 _V | 360 |
| 断層モデルを用いた手法による基準地震動 Ss-2 及び Ss-3 | 城山南断層による地震 | 水平方向 NS 成分 | Ss-2 _{NS} | 268 |
| | | 水平方向 EW 成分 | Ss-2 _{EW} | 265 |
| | | 鉛直方向 UD 成分 | Ss-2 _{UD} | 172 |
| | 竹木場断層による地震 | 水平方向 NS 成分 | Ss-3 _{NS} | 524 |
| | | 水平方向 EW 成分 | Ss-3 _{EW} | 422 |
| | | 鉛直方向 UD 成分 | Ss-3 _{UD} | 372 |
| 震源を特定せず策定する地震動による基準地震動 Ss-4 及び Ss-5 | 2004年北海道留萌支庁南部地震を考慮した地震波 | 水平方向 | Ss-4 _H | 620 |
| | | 鉛直方向 | Ss-4 _V | 320 |
| | 2000年鳥取県西部地震を考慮した地震波 | 水平方向 NS 成分 | Ss-5 _{NS} | 528 |
| | | 水平方向 EW 成分 | Ss-5 _{EW} | 531 |
| | | 鉛直方向 UD 成分 | Ss-5 _{UD} | 485 |

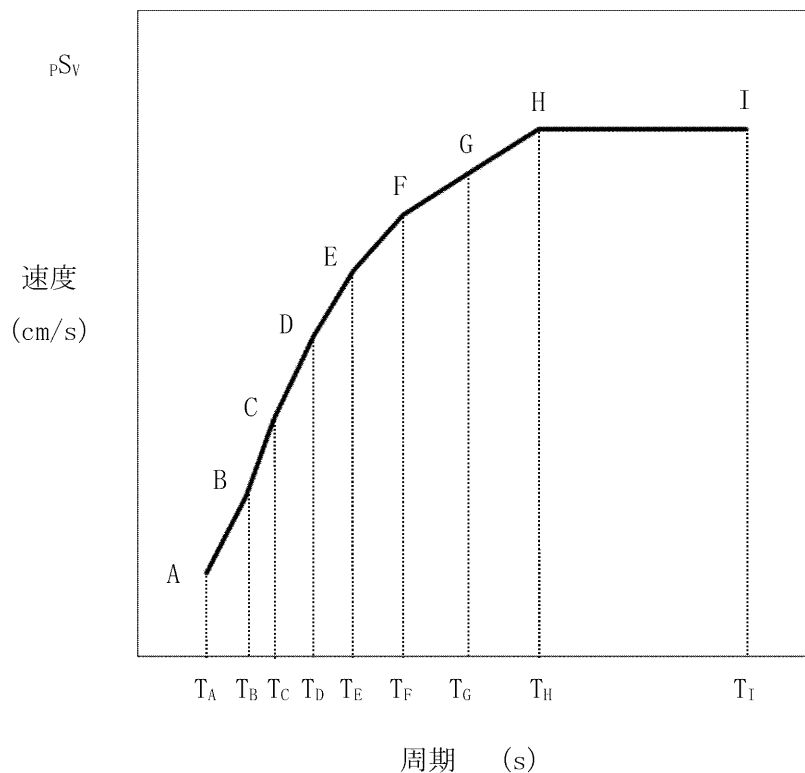
第3-1表 標準応答スペクトルの応答スペクトル値

| 標準応答 スペクトル | コントロールポイント | | | | | | | | | |
|---------------|------------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
| | A | | B | | C | | D | | E | |
| | T_A | pS_V | T_B | pS_V | T_C | pS_V | T_D | pS_V | T_E | pS_V |
| 水平 | 0.02 | 1.910 | 0.03 | 3.500 | 0.04 | 6.300 | 0.06 | 12.000 | 0.09 | 20.000 |
| 鉛直 | 0.02 | 1.273 | 0.03 | 2.500 | 0.04 | 4.400 | 0.06 | 7.800 | 0.09 | 13.000 |

| 標準応答 スペクトル | コントロールポイント | | | | | | | |
|---------------|------------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
| | F | | G | | H | | I | |
| | T_F | pS_V | T_G | pS_V | T_H | pS_V | T_I | pS_V |
| 水平 | 0.15 | 31.000 | 0.30 | 43.000 | 0.60 | 60.000 | 5.00 | 60.000 |
| 鉛直 | 0.15 | 19.000 | 0.30 | 26.000 | 0.60 | 35.000 | 5.00 | 35.000 |

注) $T_A \sim T_I$ は周期 (s)

pS_V は速度 (cm/s)



擬似速度応答スペクトル

第4-1表 長周期帯の理論的方法に用いた地下構造モデル

| 層厚 (m) | 密度 ρ (g/cm ³) | Vp (km/s) | Vs (km/s) | Q 値 |
|-----------|-----------------------------------|--------------|--------------|-----|
| 35 | 2.35 | 3.00 | 1.35 | 100 |
| 50 | 2.35 | 3.44 | 1.57 | 100 |
| 50 | 2.35 | 3.47 | 1.73 | 100 |
| 50 | 2.35 | 3.65 | 1.77 | 100 |
| 1,604 | 2.40 | 4.00 | 2.10 | 200 |
| 1,211 | 2.60 | 5.50 | 3.10 | 300 |
| 17,000 | 2.70 | 5.90 | 3.50 | 300 |
| 13,000 | 3.00 | 6.60 | 3.80 | 500 |
| — | 3.30 | 7.60 | 4.30 | 500 |

第4-2表 検討に用いた観測地震の諸元

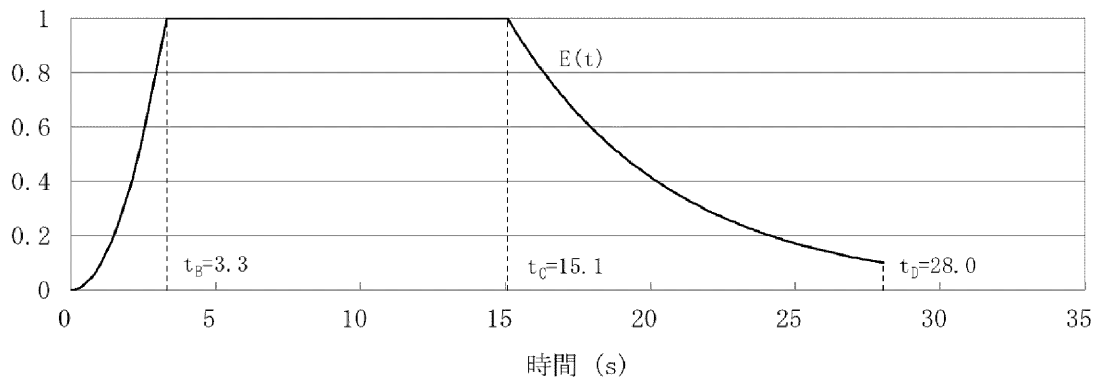
| No. | 年月日 | 震央位置 | | マグニチュード M | 震央距離 (km) | 地名 |
|-----|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|---------|
| | | 北緯 | 東経 | | | |
| 1 | 1997. 3. 26 | 31° 58. 37' | 130° 21. 54' | 6. 6 | 178 | 鹿児島県北西部 |
| 2 | 1997. 4. 3 | 31° 58. 22' | 130° 19. 32' | 5. 7 | 178 | 鹿児島県北西部 |
| 3 | 1997. 5. 13 | 31° 56. 90' | 130° 18. 16' | 6. 4 | 179 | 鹿児島県北西部 |
| 4 | 1997. 6. 25 | 34° 26. 49' | 131° 39. 97' | 6. 6 | 198 | 山口県 |
| 5 | 2005. 3. 20 | 33° 44. 35' | 130° 10. 58' | 7. 0 | 40 | 九州北西沖 |
| 6 | 2005. 3. 22 | 33° 43. 52' | 130° 10. 61' | 5. 4 | 39 | 九州北西沖 |
| 7 | 2005. 4. 20 | 33° 40. 69' | 130° 17. 29' | 5. 8 | 46 | 福岡県中部 |
| 8 | 2016. 4. 14 | 32° 44. 50' | 130° 48. 52' | 6. 5 | 125 | 熊本県熊本地方 |
| 9 | 2016. 4. 14 | 32° 46. 53' | 130° 50. 97' | 5. 8 | 126 | 熊本県熊本地方 |
| 10 | 2016. 4. 15 | 32° 42. 04' | 130° 46. 66' | 6. 4 | 126 | 熊本県熊本地方 |
| 11 | 2016. 4. 16 | 32° 45. 27' | 130° 45. 78' | 7. 3 | 121 | 熊本県熊本地方 |
| 12 | 2016. 4. 16 | 32° 45. 19' | 130° 45. 69' | 5. 4 | 121 | 熊本県熊本地方 |
| 13 | 2016. 4. 16 | 32° 51. 79' | 130° 53. 94' | 5. 9 | 123 | 熊本県熊本地方 |
| 14 | 2016. 4. 16 | 32° 57. 83' | 131° 05. 21' | 5. 9 | 132 | 熊本県阿蘇地方 |
| 15 | 2016. 4. 16 | 33° 01. 59' | 131° 11. 46' | 5. 8 | 138 | 熊本県阿蘇地方 |
| 16 | 2016. 4. 16 | 32° 50. 82' | 130° 50. 10' | 5. 4 | 119 | 熊本県熊本地方 |
| 17 | 2016. 4. 16 | 32° 41. 95' | 130° 43. 20' | 5. 4 | 123 | 熊本県熊本地方 |
| 18 | 2016. 4. 18 | 33° 00. 12' | 131° 11. 99' | 5. 8 | 140 | 熊本県阿蘇地方 |
| 19 | 2016. 4. 19 | 32° 32. 11' | 130° 38. 12' | 5. 5 | 132 | 熊本県熊本地方 |

第4-3表 標準応答スペクトルを考慮した地震動の設定
に用いる解放基盤表面以深の地下構造モデル

| 層厚 (m) | 密度 ρ (g/cm ³) | V _p (km/s) | V _s (km/s) | Q 値 |
|-----------|-----------------------------------|--------------------------|--------------------------|------|
| 35 | 2.35 | 3.00 | 1.35 | 12.5 |
| 50 | 2.35 | 3.44 | 1.57 | 12.5 |
| 50 | 2.35 | 3.47 | 1.73 | 12.5 |
| 50 | 2.35 | 3.65 | 1.77 | 12.5 |
| — | 2.40 | 4.00 | 2.10 | 200 |

第4-4表 標準応答スペクトルに基づく地震基盤相当面における
 模擬地震波の振幅包絡線の経時的变化

| 標準応答 スペクトル | 継続時間 (s) | 振幅包絡線の経時的变化(s) | | |
|---------------|-------------|----------------|-------|-------|
| | | t_B | t_C | t_D |
| 水平 | 28.0 | 3.3 | 15.1 | 28.0 |
| 鉛直 | 28.0 | 3.3 | 15.1 | 28.0 |



$$t_B = 10^{0.5M-2.93}$$

$$t_C - t_B = 10^{0.3M-1.0}$$

$$t_D - t_C = 10^{0.17M+0.541\log X_{eq}-0.6}$$

$$M = 6.9, X_{eq} = 10 \text{ (km)}$$

第4-5表 標準応答スペクトルに基づく地震基盤相当面における
模擬地震波の作成結果

| 標準応答 スペクトル | 作成条件 | 作成結果 | | | |
|---------------|---------|-------------------------------|----------|-------|------|
| | 応答スペクトル | 最大加速度 (cm/s ²) | 応答スペクトル比 | 継続時間 | SI比 |
| 水平 | 第3-1表 | 600 | 第4-6図 | 第4-4表 | 1.00 |
| 鉛直 | 第3-1表 | 400 | 第4-6図 | 第4-4表 | 1.01 |

$$R(T) = \frac{S_{v1}(T)}{S_{v2}(T)} \geq 0.85 \quad (0.02 \leq T)$$

ただし、T：周期 (s)

$S_{v1}(T)$ ：模擬地震波の応答スペクトル値

$S_{v2}(T)$ ：目標とする応答スペクトル値

$$SI比 = \frac{\int_{0.1}^{2.5} S_v(T) dt}{\int_{0.1}^{2.5} \bar{S}_v(T) dt} \geq 1.0$$

ただし、SI：応答スペクトル強さ

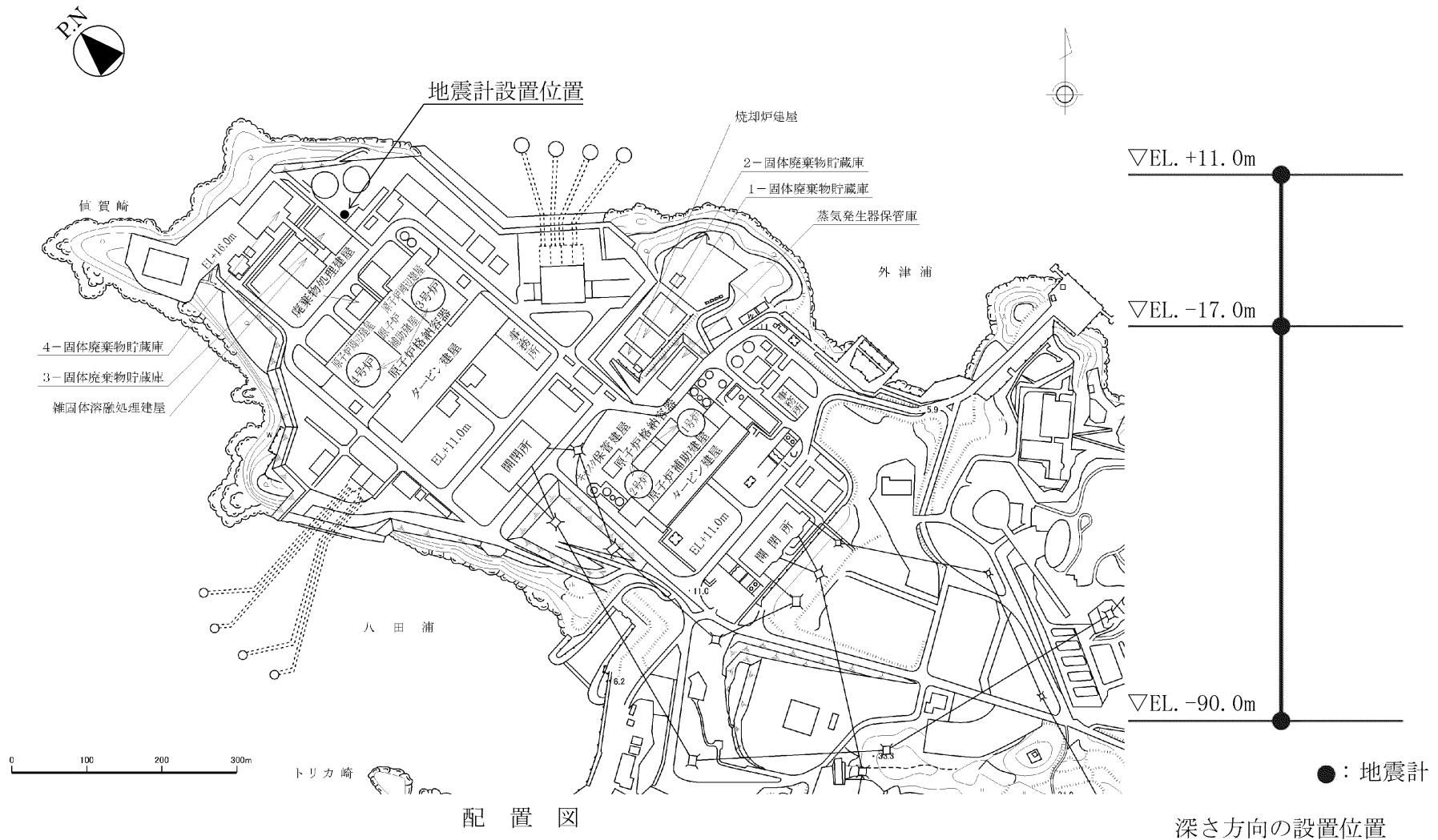
$S_v(T)$ ：模擬地震波の応答スペクトル(cm/s)

$\bar{S}_v(T)$ ：目標とする応答スペクトル(cm/s)

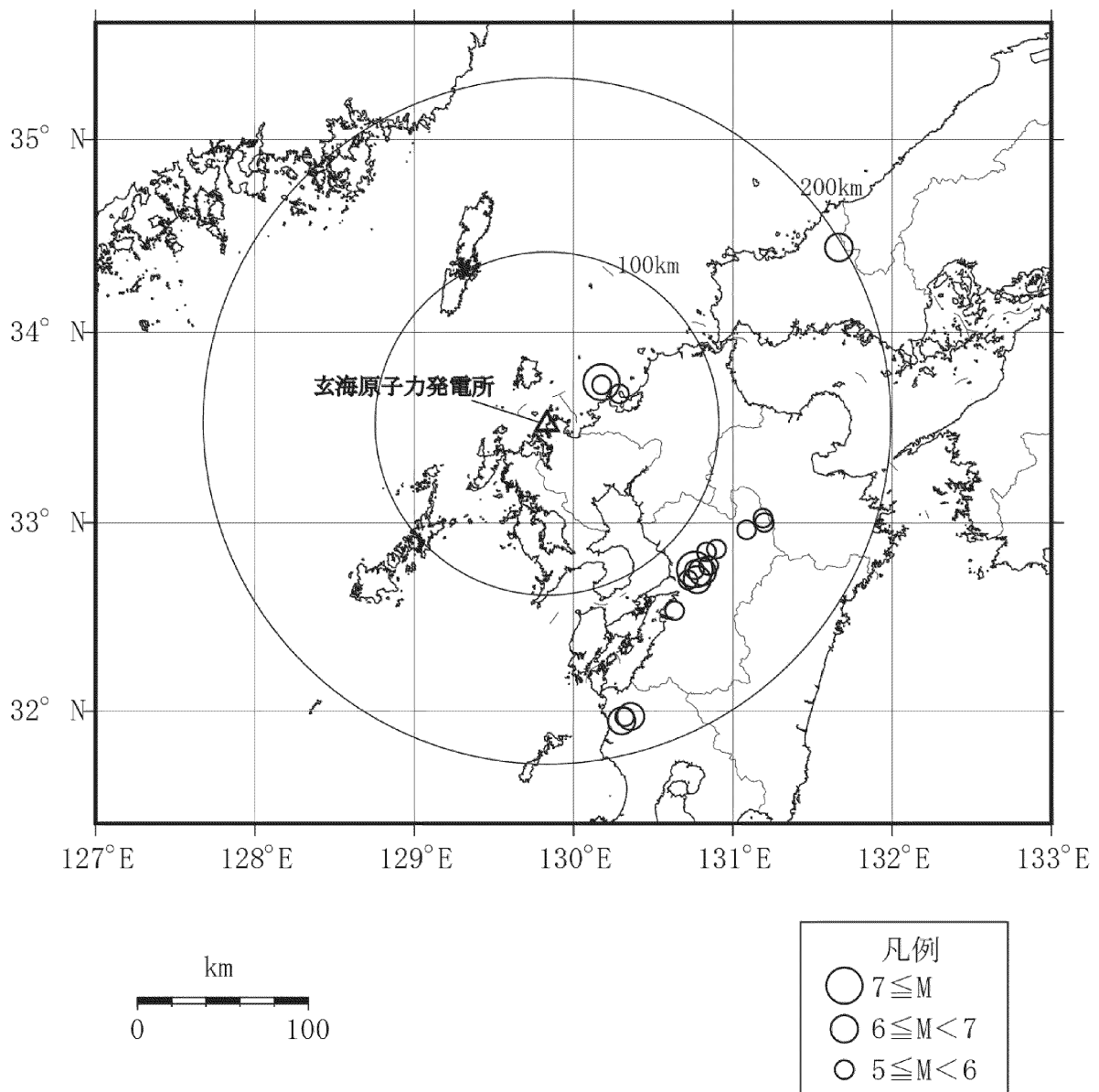
T：固有周期(s)

第4-6表 標準応答スペクトルを考慮した地震動の最大加速度

| | | 最大加速度 (cm/s^2) |
|-----------------------|------|------------------------------|
| 標準応答スペクトルを 考慮した地震波 | 水平方向 | 577 |
| | 鉛直方向 | 403 |

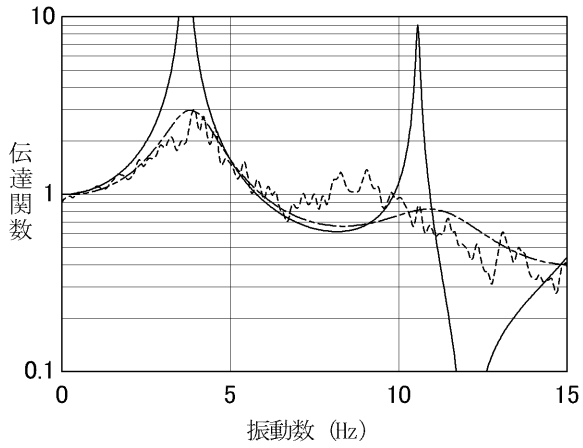


第4-1図 地震観測点

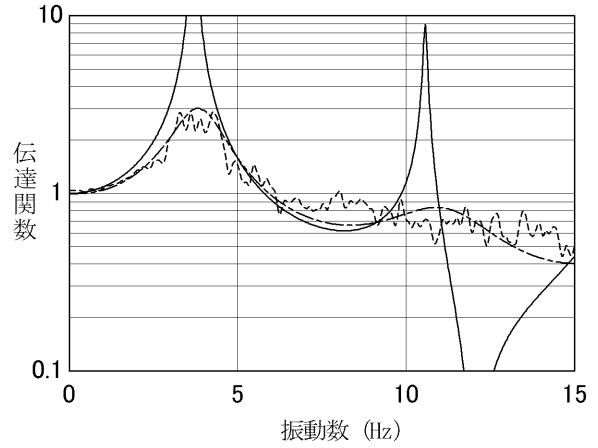


第4-2図 検討に用いた観測地震の震央分布

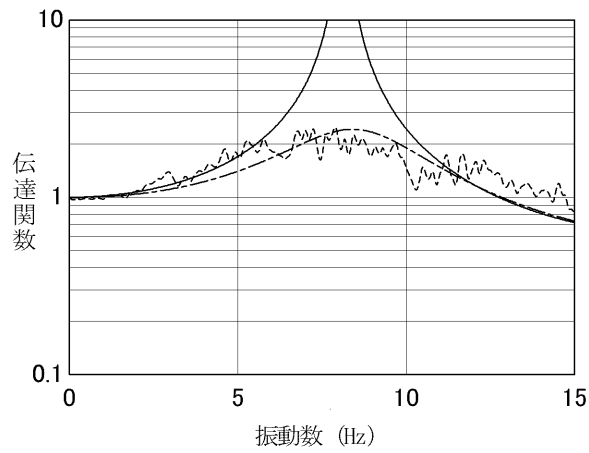
———: 理論伝達関数 (長周期帯の理論的方法に用いた地下構造モデル)
 - - - - : 理論伝達関数 (同定地下構造モデル)
 - - - - : 地震観測記録による伝達関数 (19地震の平均伝達関数)



(a) NS 方向

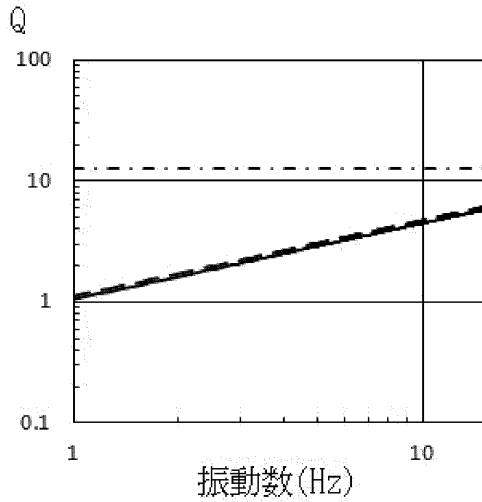
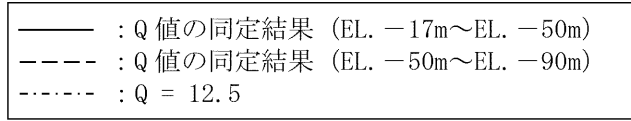


(b) EW 方向

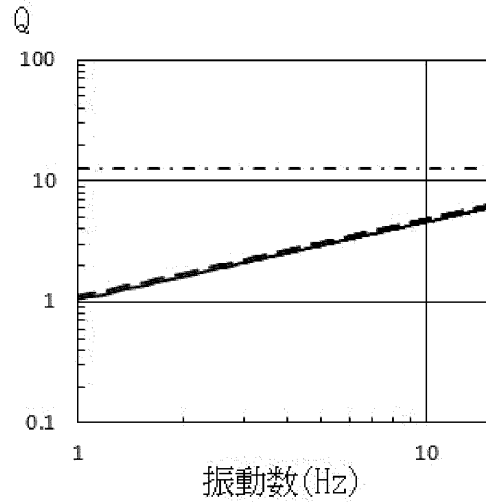


(c) UD 方向

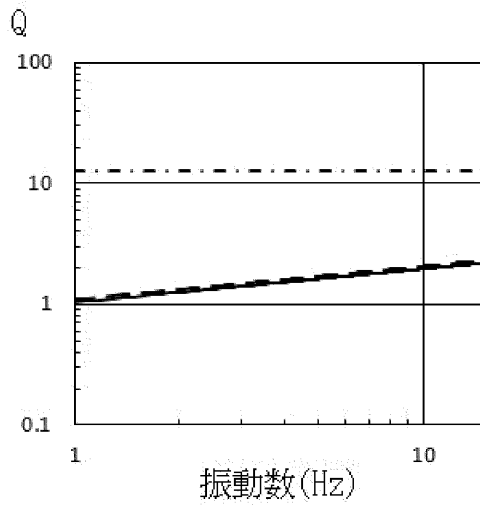
第 4-3 図 地震観測記録に基づく平均伝達関数及び同定結果から計算される理論伝達関数 (EL. -17m/EL. -90m)



(a) NS 方向



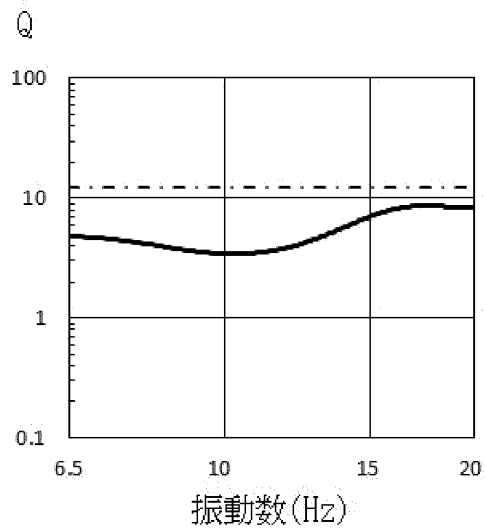
(b) EW 方向



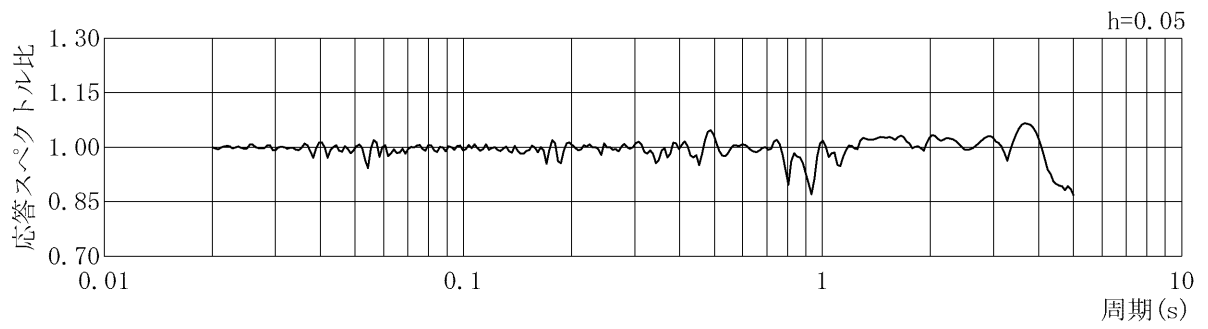
(c) UD 方向

第 4-4 図 伝達関数の逆解析による Q 値の同定結果

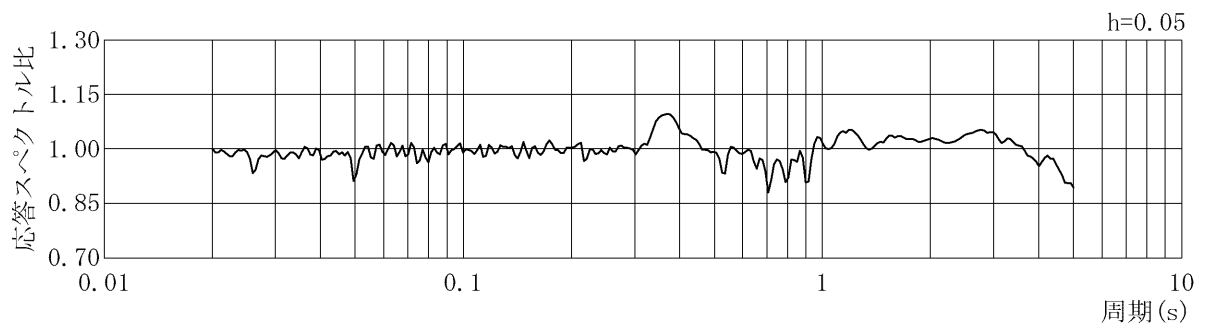
— : 地震波干渉法による Q 値の推定結果
- - - : Q = 12.5



第 4-5 図 地震波干渉法による Q 値の推定結果

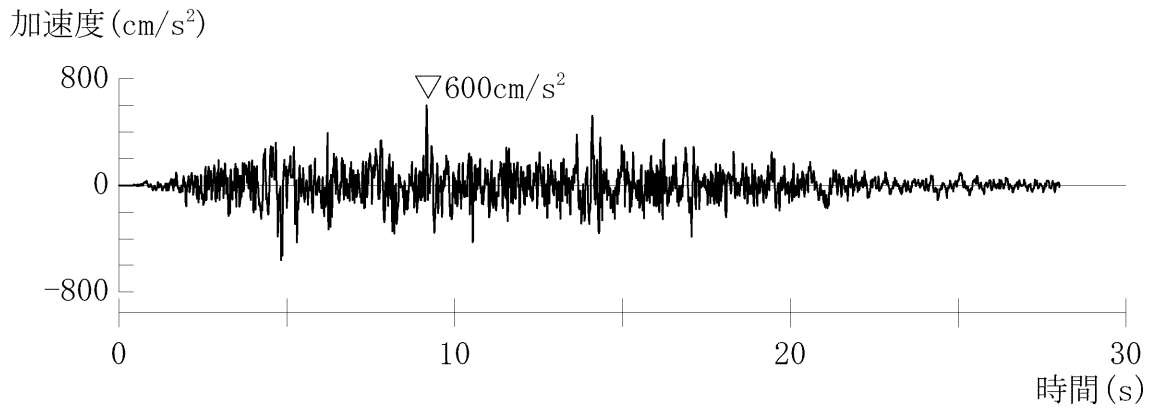


水平方向

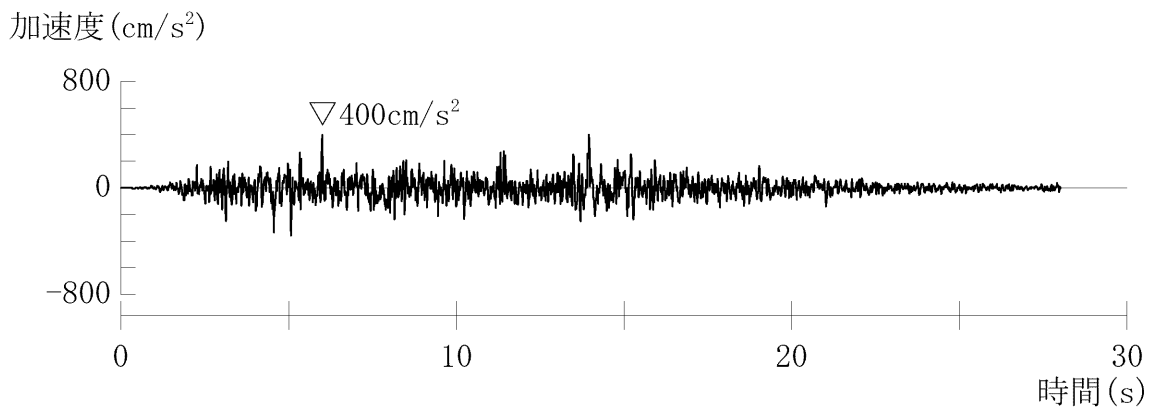


鉛直方向

第4-6図 標準応答スペクトルに対する模擬地震波の応答スペクトル比



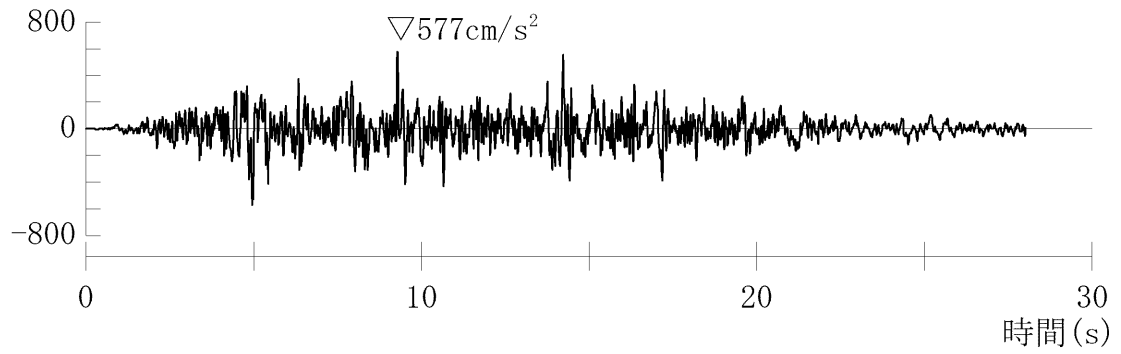
加速度 (水平方向)



加速度 (鉛直方向)

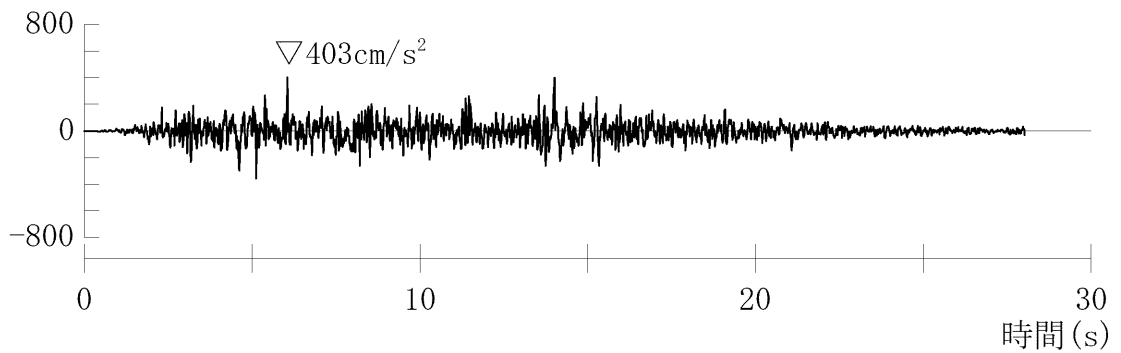
第4-7図 標準応答スペクトルに基づく地震基盤相当面における
模擬地震波の時刻歴波形

加速度 (cm/s^2)



加速度 (水平方向)

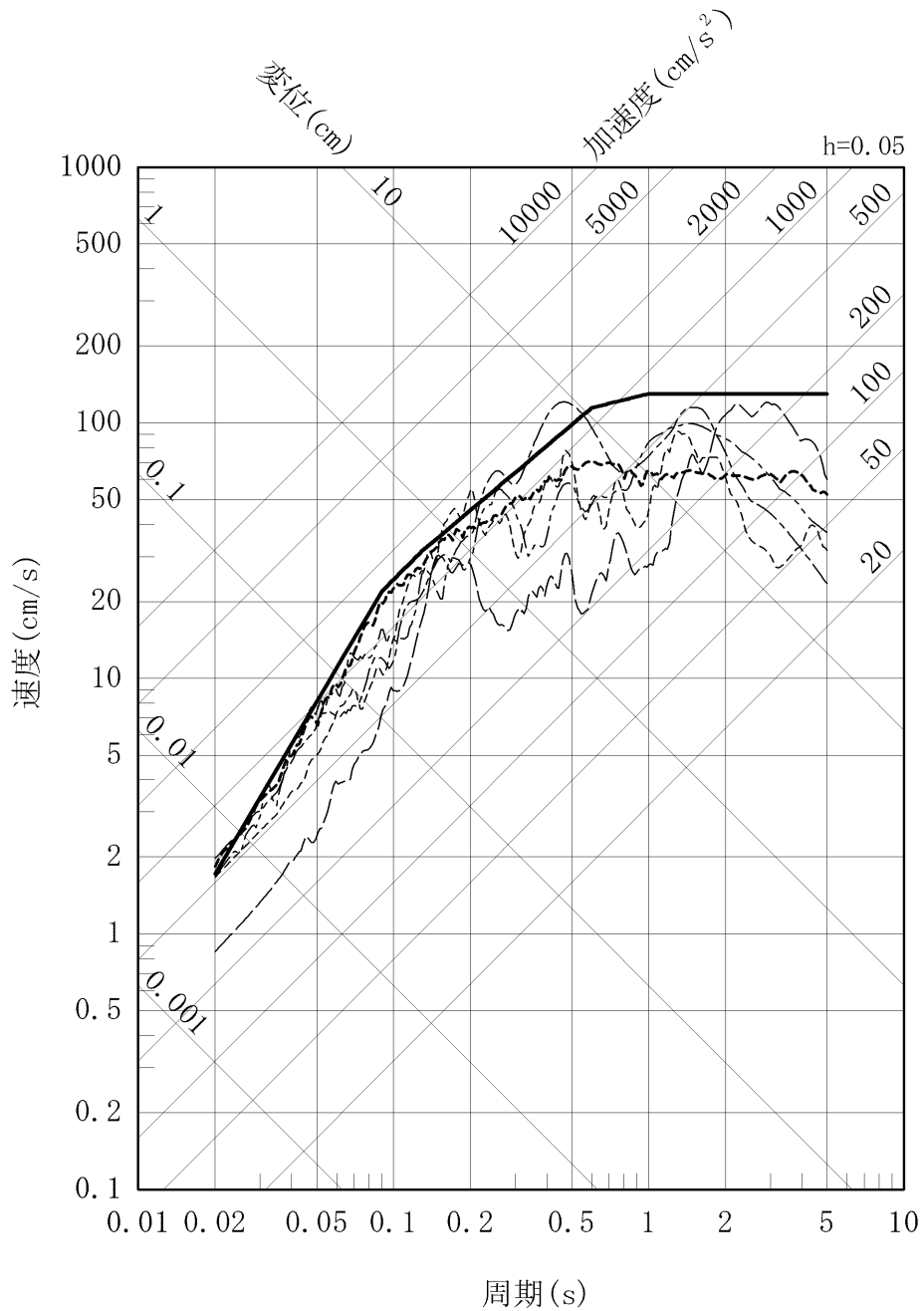
加速度 (cm/s^2)



加速度 (鉛直方向)

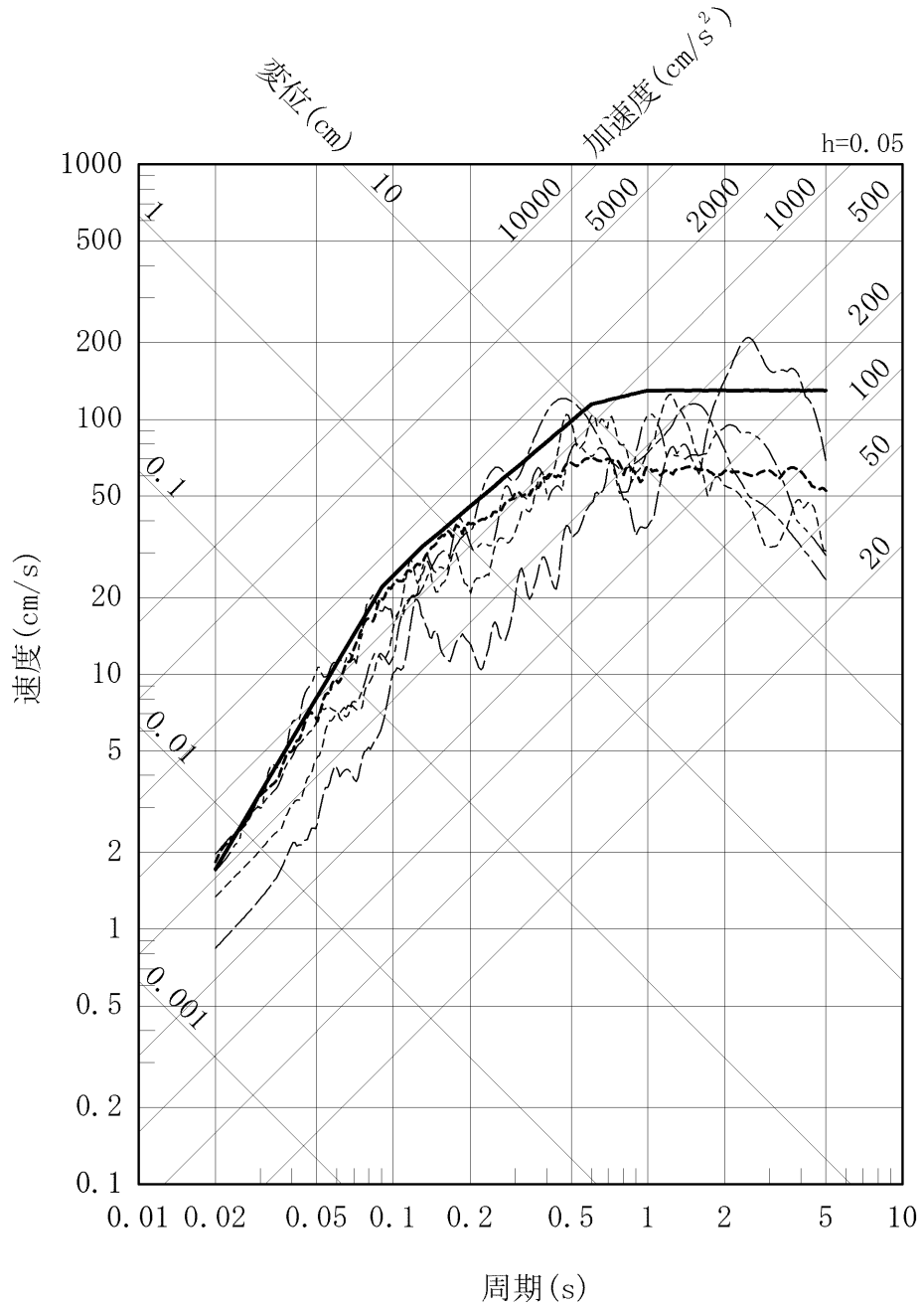
第4-8図 標準応答スペクトルを考慮した地震動の時刻歴波形

- Ss-1_H
- - - Ss-2_{NS}
- · - · Ss-3_{NS}
- - - Ss-4_H
- · - · Ss-5_{NS}
- · - · 標準応答スペクトルを考慮した地震動



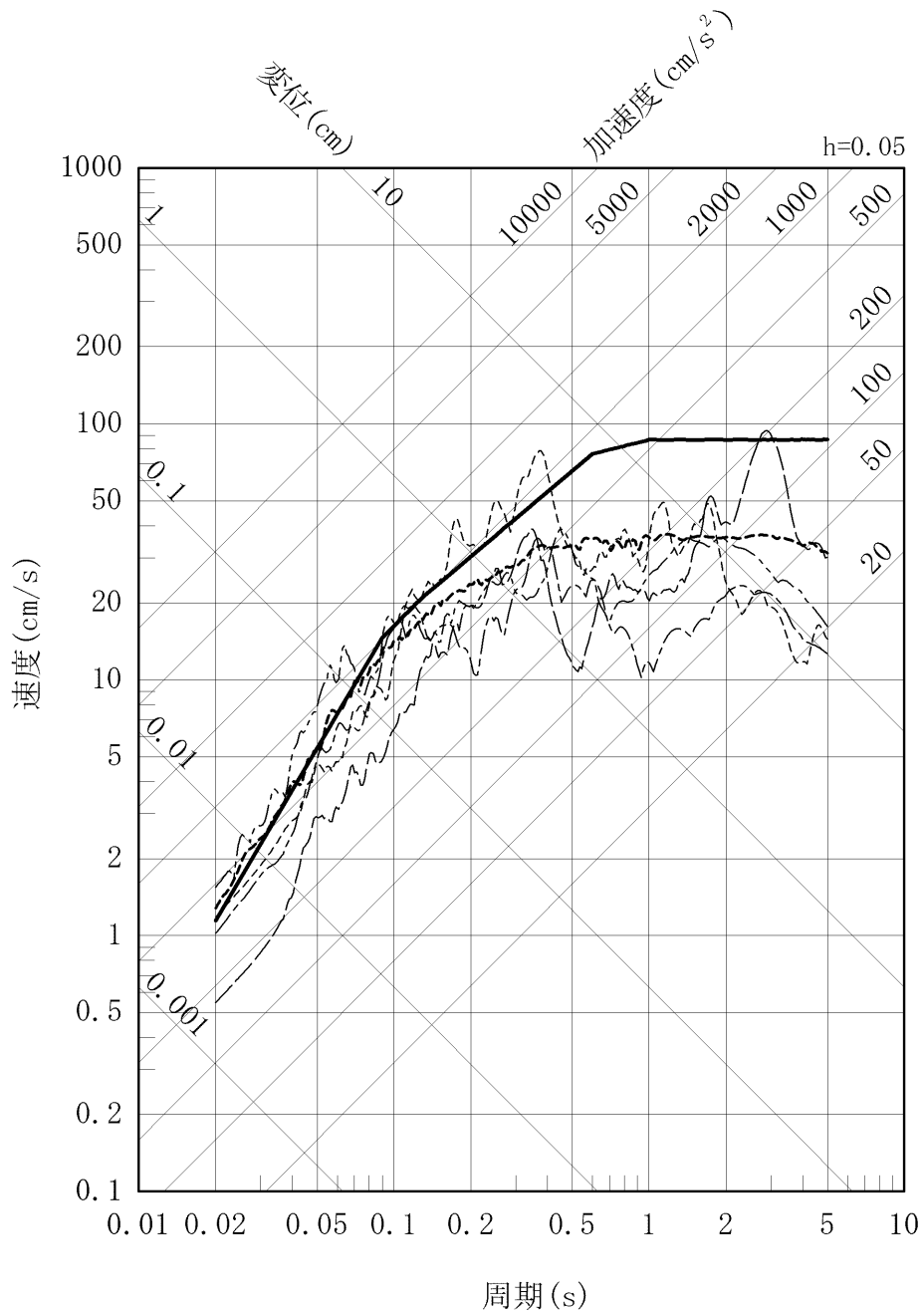
第5-1図 標準応答スペクトルを考慮した地震動の応答スペクトル及び
 現行の基準地震動の応答スペクトル（水平方向：NS）

- Ss-1_H
- - - Ss-2_{EW}
- · - · - Ss-3_{EW}
- - - Ss-4_H
- · - · - Ss-5_{EW}
- - - 標準応答スペクトルを考慮した地震動



第5-2図 標準応答スペクトルを考慮した地震動の応答スペクトル及び
 現行の基準地震動の応答スペクトル（水平方向：EW）

- Ss-1_v
- - - Ss-2_{UD}
- · - · - Ss-3_{UD}
- · - - Ss-4_v
- · - · - Ss-5_{UD}
- · - · - 標準応答スペクトルを考慮した地震動



第5-3図 標準応答スペクトルを考慮した地震動の応答スペクトル及び
 現行の基準地震動の応答スペクトル（鉛直方向）